

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA

RICARDO DA COSTA DALLABRIDA

ENSAIO DE PNEUS AGRÍCOLAS E O USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO  
COMBATE A COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

FLORIANÓPOLIS

2008

RICARDO DA COSTA DALLABRIDA

ENSAIO DE PNEUS AGRÍCOLAS E O USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO  
COMBATE A COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Trabalho apresentado como requisito básico para conclusão do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, sob a orientação do Professor Dr. Alberto Kazushi Nagaoka.

FLORIANÓPOLIS

2008

ENSAIO DE PNEUS AGRÍCOLAS E O USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO  
COMBATE A COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Por

RICARDO DA COSTA DALLABRIDA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade Federal  
de Santa Catarina, para obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo  
pela Banca Examinadora, formada  
por:

---

Presidente: Prof. Dr. Alberto Kazushi Nagaoka

---

Membro: Prof. Dr. Augusto Weiss

---

Membro: Prof. Dr. Jorge Luiz Barcelos Oliveira

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio, esforço e confiança ofertados a mim durante todo o período de duração do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus;

A minha família;

Aos professores pela colaboração durante o curso;

Ao professor Dr. Alberto Kazuchi Nagaoka pela orientação;

Ao professor Dr. Kléber Pereira Lanças pela supervisão e ajuda durante o estágio;

Aos meus colegas de curso;

A Universidade Federal de Santa Catarina;

## RESUMO

DALLABRIDA, Ricardo da Costa. **Ensaio de pneus agrícolas e o uso da agricultura de precisão no combate a compactação dos solos**. 2008. 42f. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina.

Como a competitividade do campo esta cada vez mais presente, as práticas que promovam o incremento produtivo e, conseqüentemente, econômico para os envolvidos na atividade, são de grande importância. O ensaio de pneus agrícolas e a agricultura de precisão têm tomado grande escala neste contexto. Este trabalho busca definir os processos para o ensaio de pneus agrícolas e a agricultura de precisão para a criação de mapas espaciais com a variabilidade ambiental da resistência do solo à penetração. Além das técnicas utilizadas, este trabalho apresenta a importância do ensaio de pneus agrícolas para definição das características de utilização, da área de contato e da pressão de inflação, considerados ideais, a fim de melhorar as características operacionais. Ainda é apresentada a construção dos mapas da resistência do solo à penetração com a variabilidade ambiental, possibilitando a recomendação de técnicas para o combate ou redução da compactação dos solos, como a mobilização destes somente quando realmente for necessário. Estas operações reduziriam substancialmente o custo de condução das culturas. O experimento foi realizado no NEMPA, Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrofloretais, localizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, sob a supervisão do Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças.

Palavras chave: ensaio de pneus, compactação, agricultura de precisão.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: UFEP (Unidade fixa de ensaio de pneus). .....	21
Figura 2 – Penetrômetro eletrônico e perfilômetro a laser na UFEP.....	22
Figura 3: Determinação da área de contato através do método da super elipse. Diagonal menor e, na sequência, diagonal maior.....	22
Figura 4: Foto da área de contato e quadro de madeira.....	23
Figura 5: Sensor laser fazendo uma varredura em uma superfície.....	24
Figura 6: Modo de varredura do perfilômetro eletrônico a laser.....	24
Figura 7: Penetrômetro eletrônico e seus componentes. ....	25
Figura 8: UMAS sendo tracionada por um trator. ....	26
Figura 9: Esquema do sistema de posicionamento utilizado na UMAS.....	26
Figura 10: Penetrômetro hidráulico eletrônico e Micrologger na UMAS.....	27
Figura 11: Fotos tiradas para cálculo da área de contato do pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24 nas condições de pressão de inflação de 22 psi e 500, 1000, 1500, 2000 e 2 2500 kgf de carga aplicada. ....	30
Figura 12: Fotos tiradas para cálculo da área de contato do pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24 nas condições de pressão de inflação de 20 psi e 250, 500, 750, 1000, 1250 e 1500 kgf de carga aplicada. ....	31
Figura 13: Mapas da área de contato e volume ocupado do pneu no solo do pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.....	32
Figura 14: Mapas da área de contato e volume ocupado do pneu no solo do pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24.....	32
Figura 15: Ponto de máxima compactação dos solos com pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.	35
Figura 16: Índice de cone para os pneus FRONTIERA 2 R1 14.9-24 e 12.4-24.....	36
Figura 17: Média dos valores de índice de cone máximo das áreas na camada de 0 a 450 mm. ....	37
Figura 18: Resistência a penetração no solo média das áreas da Usina Cerradinho. ....	37
Figura 19: Mapas do índice de cone encontrado nas áreas de acordo com a profundidade.....	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Pressão de inflação e cargas aplicadas no pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24. ....	21
Tabela 2: Pressão de inflação e cargas aplicadas no pneu FRONTIERA 2 R1 1249-24. ....	21
Tabela 3: Resultados obtidos no tanque do solo para o pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24. ....	33
Tabela 4: Resultados obtidos no tanque do solo para o pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24. ....	34



## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS GERAIS .....</b>	<b>12</b>
<b>3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
5.1 ENSAIO DE PNEUS .....	14
5.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO NO COMBATE A COMPACTAÇÃO DOS SOLOS	16
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
6.1 ENSAIO DE PNEUS .....	20
<b>6.1.1 A prensagem dos pneus.....</b>	<b>20</b>
<b>6.1.2 O levantamento de dados no tanque de solos.....</b>	<b>21</b>
6.1.2.1 A determinação da área de contato.....	22
6.1.2.2 A resistência à penetração no tanque de solo .....	25
6.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DOS SOLOS .....	25
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
7.1 ENSAIO DE PNEUS .....	29
7.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DOS SOLOS .....	36
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>9 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sabendo-se que a agricultura cada vez mais tem se consolidado como importante fonte de geração de riqueza no país, alternativas que proporcionem a melhoria da gestão das atividades agrícolas são de grande importância para promoção de avanço em toda a cadeia produtiva.

A estruturação da economia global vem proporcionando, a cada dia, uma maior disputa por espaço no mercado (SANTOS, 1995). Assim como em todos os segmentos, na agricultura não deixa de ser diferente. A pesquisa e adequação para técnicas que promovam otimizações nos processos produtivos esta cada vez mais necessária.

Por ser a agricultura uma das especialidades do Brasil, a economia do país, direta ou indiretamente, sempre tem algo relacionado a esta. A sofisticação do sistema agrícola é um processo irreversível e necessário (KLEIN, 2004).

Esta sofisticação tem tornado mais freqüente o lançamento de máquinas e pneus com maiores e eficientes capacidades de realização de trabalho. O conhecimento das características das máquinas e pneus, junto da sua relação com o ambiente, é fundamental para que se possa recomendar condições ideais de tarefas.

A utilização de máquinas de forma incorreta pode provocar grande deterioração das características físicas do solo, e conseqüente, queda na produtividade.

A compactação dos solos tem se tornado um dos maiores problemas da agricultura, promovendo restrição mecânica ao desenvolvimento de raízes e da disponibilidade de nutrientes. O aumento da utilização das máquinas trouxe consigo a elevação dos níveis de compactação.

Algumas técnicas relacionadas a redução destes níveis estão sendo desenvolvidas, com ensaio de pneus para recomendações corretas, proporcionando menor compactação dos solos, menor consumo de combustível, desgaste correto do pneu e melhor eficiência, e, a utilização da agricultura de precisão para a produção de mapas georeferenciados com o nível de compactação, para indicar corretamente as práticas necessárias para o seu combate e diminuição.

O NEMPA (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais), localizado na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, foi criado para que se tornassem conhecidas as capacidades operacionais possíveis e mais harmônicas, de acordo com o ambiente de trabalho, das máquinas e pneus agroflorestais,

otimizando os trabalhos desenvolvidos no campo, bem como, da constatação dos níveis de compactação e recomendações necessárias para o seu combate e redução utilizando-se de mapas da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração.

Com base nestas considerações, neste trabalho, realizado no NEMPA, serão conhecidos os resultados de ensaios e mapas espaciais da resistência a penetração, feitos durante o período de estágio e as técnicas e instrumentos utilizados.

## **2 OBJETIVOS GERAIS**

Este trabalho teve como objetivo geral apresentar os resultados de ensaios de pneus agrícolas, bem como, da utilização da agricultura de precisão como ferramenta no combate a compactação dos solos com bases nos resultados obtidos.

Propor recomendações de utilização dos pneus ensaiados de modo a promover maior vida útil e menor agressão ao ambiente de trabalho. Recomendar a utilização das técnicas de forma mais racional para o controle da compactação, em função da resistência a penetração no solo.

## **3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) conhecer os instrumentos e técnicas do ensaio de pneus e máquinas agrícolas;
- b) definir as características operacionais dos pneus ensaiados, como pressão de inflação, área de contato e volume ocupados, mais adequados ao ambiente de trabalho;
- c) conhecer instrumentos e técnicas utilizados para construção de mapas espaciais da compactação dos solos;
- d) determinar o índice de cone dos solos e definir práticas mais eficientes no combate à compactação em locais de verdadeira necessidade.

#### 4 JUSTIFICATIVA

A produção agrícola nacional cada vez mais vem se consolidando como ferramenta fundamental para a geração de desenvolvimento e riqueza, conferindo ao Brasil o título de importante potência agrícola. Dentre alguns aspectos é possível ressaltar que, por exemplo, no ano de 2003 a produção agrícola foi responsável por 25% do PIB nacional, 44% das exportações e 37% dos empregos gerados (MACHADO & BERNARDI, 2004).

Mesmo sobre condições avançadas de produção, este cenário não implica na desaceleração de investimentos para melhoras no nível de eficiência da cadeia produtiva, como de gerenciamento constante e eficiente dos fatores de produção, sob o risco dos lucros serem reduzidos e os custos aumentados.

O consumo e modernização da frota de máquinas, equipamentos e pneus agrícolas têm aumentado juntamente com a modernização agrícola. Com a modernização é possível observar uma elevação no número comercializado destas máquinas e equipamentos, bem como no seu tamanho e faixa de potência, no caso dos tratores (FERREIRA FILHO & FELIPE, 2007).

Neste contexto o ensaio de máquinas e pneus agrícolas pode proporcionar resultados para um melhor planejamento agrícola, uso de recursos e redução dos impactos ambientais proporcionados pela atividade.

Além do ensaio de pneus, a utilização da agricultura de precisão tem se tornado importante ferramenta administrativa das decisões tomadas nas propriedades. A construção de mapas com a variabilidade espacial da compactação ajuda a reduzir a prática indiscriminada de mobilização dos solos, gerando importante economia na condução de algumas culturas.

A aplicação destes resultados tende a se tornar cada vez mais comum onde o desenvolvimento prioriza melhores ganhos econômicos e menores impactos ambientais, como a compactação dos solos. Por isso, estudos relacionados, como os realizados pelo NEMPA (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais), são de grande importância para geração de conhecimento e desenvolvimento destas tecnologias.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 ENSAIO DE PNEUS

A modernização da agricultura trouxe consigo o aumento do número de tratores e, conseqüentemente, da capacidade produtiva do campo. Um dos principais componentes destas máquinas são os rodados pneumáticos.

Dentre as principais funções destes rodados temos o equilíbrio, capacidade de deslocamento, desempenho operacional, amortecimento e direcionamento dos tratores agrícolas (NAGAOKA et al., 2002).

Além disso, os pneus têm de suportar a carga exercida pelos equipamentos que o utilizam em condições estáticas e dinâmicas, garantir com eficiência a transmissão das forças motrizes e frenagens. O pneu é o último elo entre o motor e o solo, conhecê-lo melhor é de fundamental importância para garantir o melhor comportamento da máquina que o utiliza (CORREA, 1999)

O desempenho de um trator está diretamente relacionado com a sua capacidade de tração, sendo que, os dispositivos de tração, ou os pneumáticos, são fatores limitantes na eficiência do trabalho (GABRIEL FILHO et al., 2007).

Os pneus utilizados podem influenciar grandemente no efeito do trabalho, já que, é de conhecimento, que estes mudam as condições conhecidas conforme a sua estrutura de construção, pressão interna, carga aplicada, desgaste e tipo de tração (JENUINO, 2007).

As atividades realizadas com máquinas agrícolas equipadas com pneus em condições recomendadas podem influenciar de maneira precisa na redução de custos nos trabalhos. Desta forma pode promover maior vida útil dos pneus, economia de combustível e manutenção prolongada das estruturas físicas adequadas ao plantio, com disponibilidades apropriadas de água e ar (MAZETTO, 2004a).

A ocorrência de uma melhor capacidade operacional é promovida pela harmonia entre os pneus, máquina e ambiente. Para que se possa constatar as melhores condições para o trabalho, o ensaio de máquinas e pneus agrícolas é de fundamental importância, gerando otimização de serviços, redução de custos e impactos ambientais, principalmente aos solos (LANÇAS, 1996a).

Para se determinar as melhores condições de trabalho de um pneu, considerando-se as suas características de construção, é necessário o conhecimento de algumas variáveis, como a

pressão de inflação, a área de contato do pneu com o solo, e a resistência à penetração gerada quando aplicadas distintas cargas sobre o solo (NAGAOKA et al., 2002).

Para que a vida útil do pneu e sua capacidade de trabalho sejam as maiores possível, considerar a pressão de inflação do pneu é fundamental. Quando a pressão de inflação está além da recomendada é possível observar maior patinagem, além de um desgaste mais acelerado, e, quando a pressão está abaixo da recomendada, pode ocorrer um aumento na resistência ao rolamento e ainda danos estruturais aos pneus (LANÇAS, 1996a).

A pressão de inflação dos pneus está diretamente relacionada com a área de contato do pneu com o solo. Sendo que, é possível observar uma maior ou menor capacidade de tração de acordo com a pressão utilizada e, conseqüentemente, área de contato encontrada.

A área de contato diminui quando se aumenta a pressão de inflação dos pneus, bem como, é possível observar que, com o aumento da pressão de inflação proporcionalmente aumenta-se a pressão de contato do pneu com o solo (MACHADO et al., 2005).

A área de contato do pneu com o solo é um dos fatores determinantes para garantir a eficiência operacional do trator e da estabilidade das características físicas dos solos agriculturáveis. A área de contato determina a concentração de pressão exercida do veículo sobre o solo, sendo que, os pneus são a última ligação da máquina com o solo, transmitindo a pressão exercida sobre o mesmo.

As características que proporcionam melhor eficiência de um rodado pneumático dependem da pressão de contato, do tamanho e forma da área de contato do pneu com o solo (JENUINO, 2007).

Quando se utiliza uma pressão média de contato do pneu com uma superfície rígida, é possível constatar que o nível de compactação superficial dos solos depende diretamente da pressão de contato do pneu com o solo, enquanto que na camada profunda o nível de compactação está diretamente relacionado com a área de contato, largura do pneu e carga que ele suporta (PORTERFIELD & CARPENTER, 1986 in MAZETTO et al., 2004b).

Para determinação da área de contato entre o pneu e o solo, o método mais comumente utilizado, de acordo com Acosta (2007), é o da elipse de HALLONBORG, que utiliza da medida das diagonais, em escala graduada, na marca deixada pelo pneu. Um método comparativo, chamado método da foto digital, com a finalidade de otimizar os resultados encontrados foi proposto por Mazetto & Lanças (2000). Neste método proposto a área de contato é determinada através da utilização do software AUTOCAD como ferramenta de auxílio.

A determinação da área é feita utilizando-se fotos da área de contato do pneu com o solo, ajustadas dentro de um quadro de madeira padrão. Depois de fotografadas as áreas de contato, estas são submetidas a processamento no AUTOCAD, e a equação de ajuste para a situação real também proposta.

De acordo com Mazetto & Lanças (2000), os resultados obtidos com a equação proposta pelo método da foto digital, não se diferenciaram estatisticamente do método da super elipse, portanto, é uma ferramenta eficiente e prática para esta verificação.

Ainda para a determinação da área de contato, pode-se utilizar um aparelho denominado Perfilômetro eletrônico a laser. A utilização do perfilômetro eletrônico pode garantir o eficiente conhecimento da área e o volume de contato do pneu com o solo (PAULA, 2008).

O seu funcionamento é baseado em uma varredura perpendicular do sensor a laser na superfície em questão. A distância do sensor com esta superfície proporciona o levantar de dados para a construção do perfil do solo. A amostragem é feita de maneira a proporcionar uma malha quadrada de amostras da situação da superfície que recebeu a carga dos rodados (PAULA, 2008).

O conhecimento da área de contato junto do peso do equipamento agrícola pode determinar se a pressão exercida é demasiada. Estes casos ocorrem frequentemente visto a utilização incorreta do pneu no equipamento, podendo ocasionar avanço no processo da compactação (ACOSTA, 2007).

## 5.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO NO COMBATE A COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Ao longo dos anos foi possível observar uma intensificação da compactação dos solos, que passou a ser uma variável de importância no cenário agrícola com a evolução da mecanização e dos equipamentos.

De acordo com Jorge (1983), antes de 1940, além da quantidade de máquinas serem bem menores, um trator pesava cerca de três toneladas. Hoje, as máquinas que circulam pelos solos agriculturáveis podem passar de quinze toneladas, como no caso de algumas colhedoras e caminhões.

A compactação dos solos foi definida por Lanças (1996b), como sendo o rearranjo das partículas do solo que estão submetidas a forças, proporcionando um aumento na densidade pela redução do volume ocupado para uma massa de partículas constantes.



Um solo pode ser considerado compactado quando a estrutura da macroporosidade for fortemente afetada ocasionando, conseqüentemente, uma redução da densidade do mesmo, ou seja, ocorre um aumento da concentração de massa por deslocamento indiscriminado das partículas, derivado de um processo mecânico fora do solo (RIPOLI, 1985).

A agressão da estrutura física dos solos é, talvez, um dos principais problemas da agricultura moderna. A compactação torna a capacidade produtiva dos solos limitada. É possível observar na ocorrência da compactação, uma grande resistência mecânica para o pleno desenvolvimento das raízes e restrição de importantes nutrientes, água e ar (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Várias técnicas estão sendo estudadas a fim de proporcionar uma redução na compactação dos solos. O ensaio de pneus agrícolas, determinando pneus ideais para cada atividade e equipamento agrícola levando em consideração a pressão de inflação e área de contato gerada, é uma delas, bem como, a agricultura de precisão na produção de mapas com a variabilidade espacial da resistência a penetração.

A chegada da mecanização proporcionou o desenvolvimento da agricultura em larga escala. Neste contexto os campos cultivados passaram a ser entendidos como uniformes e a variabilidade foi esquecida. A agricultura de precisão resgata a importância da variabilidade ambiental e propõe tratamentos culturais que promovam melhor aproveitamento e conhecimento das características da área (KLEIN, 2004).

Segundo Guerra & Lanças (2006), a agricultura de precisão pode ser definida como sendo a integridade entre diversas tecnologias a fim de reduzir as perdas na produção agroflorestal, aumentar o retorno econômico no meio rural e reduzir os impactos ambientais.

A agricultura de precisão engloba diferentes práticas. A adoção desta técnica é iniciada pelo conhecimento apurado e interpretação dos mapas georeferenciados, hoje a ferramenta mais utilizada. Ainda podem ser usadas fotografias aéreas, imagens de satélite, videografia, amostragem do solo por grade e respectiva condutividade elétrica para o conhecimento detalhado de toda área estudada (MOLIN, 2002).

Nesta técnica todas as variações ambientais e geográficas são estudadas para a tomada de decisão das práticas de manejo necessárias. Neste caso, a área é dividida em talhões onde são determinadas as suas variabilidades (COELHO et al., 2003).

Esta tecnologia tem se mostrado como promessa para uma revolução da atual situação da utilização de recursos energéticos, permitindo a aplicação de insumos e manejos nos locais corretos e quantidades deferidas (CAPELLI, 1999 in MOLIN & MENEGATTI, 2003a).

A resistência a penetração é uma das formas mais freqüentemente utilizadas para se determinar o nível da compactação nos ambientes produtivos, comparando solos de mesmo tipo e teor de água (LANÇAS, 1991 in NAGAOKA et al., 2003). A agricultura de precisão pode identificar esta resistência de acordo com a variabilidade existente no ambiente.

Dentre as mais variadas aplicações pode-se dizer que, o conhecimento da resistência a penetração, é utilizada para detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção para o impedimento mecânico do desenvolvimento das raízes das plantas, predição da força de tração necessária para a realização de trabalho, conhecimento do processo de ressecamento e umedecimento, entre outros (CUNHA et al., 2002).

O conhecimento da resistência a penetração existente em cada talhão promoveria a informação específica das práticas de manejo utilizadas em cada área. Desta forma garantiria menor impacto às propriedades físicas dos solos aonde as práticas seriam desnecessárias e, ainda, uma economia de combustíveis no caso da não recomendação do manejo destas (ACOSTA, 2007).

Para a verificação da resistência a penetração são usados os penetrômetros de cone. Estes instrumentos de medida caracterizam a resistência do solo a penetração por um método uniforme e padrão (MOLIN & SILVA JÚNIOR, 2003b).

A utilização deste equipamento promove uma unidade chamada índice de cone. A definição para esta unidade é dada como sendo a força necessária para cravar o penetrômetro no solo, que tem um cone circular de 30 graus na ponta. É determinado que o início da leitura seja feito no instante em que a base do cone for introduzida em velocidade constante de 30 mm/s. Esta unidade é expressa em kPa ou kgf/cm<sup>2</sup> (ASAE, 1999 in ACOSTA, 2007).

Os mapas de índice de cone, recentemente usados, têm se mostrado como uma ferramenta de grandioso valor para a visualização das configurações da resistência dos solos a penetração, especialmente ao preparo e ao tráfego efetuado pelas máquinas agrícolas. Os valores gerados de resistência a penetração podem ser utilizados como parâmetro para classificação dos solos quanto aos quesitos de habilidade de crescimento das plantas, resistência do desenvolvimento das raízes e emergência das sementes (MOLIN & SILVA JÚNIOR, 2003b).

O desenvolvimento da capacidade de se criar mapas com a variabilidade espacial de atributos dos solos, como o índice de cone, tem tornado possível de se fazer estimativas das características variáveis. Desta forma é possível de se ter parâmetros para verificar a

viabilidade da plantio de algumas culturas e orientar estratégias para implantação das lavouras (MOLIN & SILVA JÚNIOR, 2003b).

A utilização destes mapas do índice de cone, ou mapas de isocompactação, com interpretação associada com mapas de isoumidade e do tipo dos solos, pode ser extremamente útil na tomada de decisão de práticas de mobilização dos solos através do uso de equipamentos escarificadores e subsoladores (LANÇAS & SANTOS FILHO, 1998).

As informações geradas podem ser transcritas para mapas de aplicação localizada e operações de mobilização. O gerenciamento destas operações pode ser realizado de forma manual ou automática. A forma automática conta com a utilização de sensores equipando o trator para acionamento automático do seu sistema hidráulico.

Desta forma, as práticas relacionadas à mobilização dos solos deixam de ser realizadas indiscriminadamente sobre toda a área agriculturável, podendo gerar uma substancial economia na condução das culturas (LANÇAS & SANTOS FILHO, 1998).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

O NEMPA é um núcleo de pesquisa pertencente ao Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Botucatu. As principais atividades desenvolvidas por este estão relacionadas ao ensaio de máquinas agrícolas, pneus, e análises físicas e dinâmicas do solo para a produção de mapas georeferenciados com suas características.

Para tanto, o NEMPA conta com instrumentos e aparelhos. Dentre eles destacam-se a UMEB (Unidade móvel de ensaio da barra de tração), UFEP (Unidade fixa de ensaio de pneus), UMEP (Unidade móvel para ensaio de pneus), UMAS (Unidade móvel de amostragem do solo), pistas de ensaio e laboratórios.

Durante o período de estágio foram realizadas atividades de acompanhamento do ensaio de pneus agrícolas e recolhimento de dados para elaboração de mapas contendo a resistência a penetração do solo. Sendo que foram utilizadas apenas algumas das estruturas do núcleo.

O trabalho de ensaio de pneus agrícolas foi realizado no NEMPA, enquanto que, o trabalho desenvolvido com objetivo do levantamento de dados para a elaboração de mapas com as informações da resistência a penetração dos solos foi iniciado na usina de álcool Cerradinho, na cidade de Catanduvas, estado de São Paulo, utilizando-se da Unidade móvel de amostragem do solo do NEMPA, aonde foi terminado.

Para melhor compreensão o trabalho foi subdividido em ensaio de pneus agrícolas e a utilização da agricultura de precisão para determinação e elaboração de mapas contendo a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração.

### 6.1 ENSAIO DE PNEUS

O ensaio de pneus foi realizado inteiramente no NEMPA, na UFEP -Unidade Fixa de Ensaio de Pneus. Para o seu desenvolvimento foram utilizados os equipamentos constituintes da UFEP, como o perfilômetro eletrônico a laser, penetrômetro eletrônico, tanque de solo, além de pneus para trator da marca Maggion, modelos FRONTIERA 2 R1 14.9-24 e 12.4-24.

#### 6.1.1 A prensagem dos pneus

O trabalho foi realizado primeiramente utilizando-se a UFEP - Unidade Fixa de Ensaio de Pneus (Figura 1). Os pneus foram montados e, posteriormente, alocados neste

equipamento que contém uma prensa hidráulica. Esta prensa simula forças controladas por uma célula de carga, como se os pneus estivessem montados no trator, sofrendo as mesmas cargas contra um tanque de solo com dimensões de 1,5 X 1,0 X 0,5 m e volume de 741 dm<sup>3</sup>, sendo este preenchido por um Latossolo vermelho, com teor de água de 11%.



Figura 1: UFEP (Unidade fixa de ensaio de pneus).

O pneu foi prensado com cargas graduais e diferentes pressões de inflação. As cargas e a pressão de inflação aplicadas no pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24, podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Pressão de inflação e cargas aplicadas no pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.

Condições/Pneu	FRONTIERA 2 R1 14.9-24				
Pressão de inflação (psi)	15	20	22	25	30
Carga aplicada (Kgf)	500	1000	1500	2000	2500

As cargas e pressão de inflação utilizadas no ensaio do pneu FONTIERA 2 R1 12.4-24 podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2: Pressão de inflação e cargas aplicadas no pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24.

Condições/Pneu	FRONTIERA 2 R1 12.4-24					
Pressão de inflação (psi)	15	20	25	30		
Carga aplicada (Kgf)	250	500	750	1000	1250	1500

### 6.1.2 O levantamento de dados no tanque de solos

Nesta etapa foi realizado o levantamento de dados no tanque de solo, onde foram retiradas amostras da resistência mecânica a penetração (índice do cone) do tanque de solo,

fotos e medidas para determinação da área de contato, e a área e volume (recalque do pneu no solo) com a utilização do perfilômetro a laser (Figura 2).



Figura 2 – Penetrômetro eletrônico e perfilômetro a laser na UFEP.

#### 6.1.2.1 A determinação da área de contato

Para a determinação da área de contato foram utilizados três métodos distintos. Sendo eles o método da super elipse, da foto digital e o do perfilômetro eletrônico laser.

O método da super elipse é o método mais comumente utilizado. Para a sua determinação foram medidas as diagonais maiores e menores utilizando-se uma escala graduada (Figura 3). Após esta etapa foram realizados os cálculos através da equação:

$$AC = 0,78 \cdot Dm \cdot L,$$

sendo que:

AC: Área de Contato;

Dm: Diagonal maior;

L: Diagonal menor.



Figura 3: Determinação da área de contato através do método da super elipse. Diagonal menor e, na sequência, diagonal maior.

No método da foto digital foi tirada uma foto da área de contato do pneu com o solo ajustados em um quadro de madeira (Figura 4). Após retirada, esta foto foi processada no software *AUTOCAD*® e, posteriormente, ajustada a situação real utilizando-se da equação abaixo, proposta por MAZETTO e LANÇAS (2000):

$$A_{rp} = \frac{A_{rq}}{A_{qf}} \times A_{pf},$$

sendo que:

$A_{rp}$  - Área real do pneu ( $\text{cm}^2$ );

$A_{rq}$  - Área real do quadro de madeira ( $\text{cm}^2$ );

$A_{qf}$  - Área do quadro na foto, também obtida através do *AUTOCAD* ( $\text{cm}^2$ );

$A_{pf}$  - Área do pneu na foto obtida através do *AUTOCAD* ( $\text{cm}^2$ ).



Figura 4: Foto da área de contato e quadro de madeira

O terceiro método é realizado com a utilização do perfilômetro eletrônico laser. Este aparelho trabalha perpendicularmente a superfície do solo fazendo uma varredura da situação do solo. A distância do solo com o sensor proporciona a construção do perfil digital do solo (Figura 5).

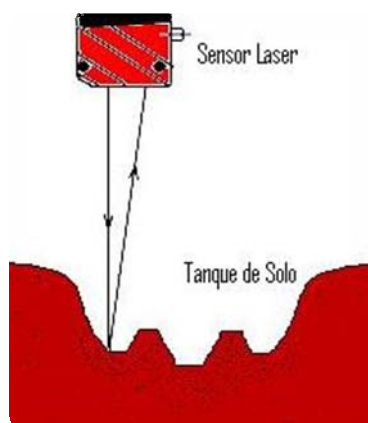


Figura 5: Sensor laser fazendo uma varredura em uma superfície.

A realização deste trabalho permite o conhecimento da área, com auxílio da geoestatística, e do volume do contato do pneu com o solo. Para isso foi utilizado um sensor laser de fabricação alemã da empresa Leuze Electronics, modelo ODS 96M/V – 5070 – 421.

O perfilômetro eletrônico a laser faz varreduras ao longo do eixo X, sendo que, ocorre uma movimentação no eixo Y assim que acaba o processo de coleta de dados no eixo X. Esta maneira permite que se tenha uma malha quadrada de coleta de dados de 5 centímetros, proporcionando mapas de recalque confiáveis e eficientes (Figura 6).

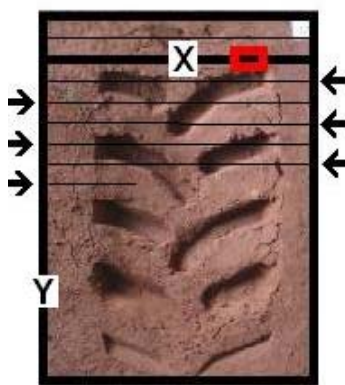


Figura 6: Modo de varredura do perfilômetro eletrônico a laser.

Os dados gerados foram armazenados em um microcomputador, e submetidos a processamento no software *Surfer 8.0*.



#### 6.1.2.2 A resistência à penetração no tanque de solo

Para a determinação do nível da compactação gerado no tanque foi-se utilizado um penetrômetro eletrônico instalado na Unidade Fixa de Ensaio de Pneus (UFEP). O penetrômetro foi utilizado para determinar o índice de cone do solo no tanque.

Foram feitas seis amostragens na área central de contato do pneu com o solo transversalmente e longitudinalmente. Foi ainda retirada amostra testemunha fora da área marcada pelo pneu.

Os dados gerados pelo penetrômetro contaram com auxílio de uma célula de cargas, para determinar a força necessária a penetração, e um potenciômetro, para determinar as profundidades conforme a haste ia se alocando no solo. A força necessária para a movimentação deste conjunto foi gerada por um pequeno motor elétrico (Figura 7).

Os dados gerados por este por célula de carga e potenciômetro foram armazenados no Micrologger, que é uma unidade de registro portátil e autônoma, do modelo CR23X da marca Campbell Scientific.



Figura 7: Penetrômetro eletrônico e seus componentes.

## 6.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Para a determinação do nível da compactação dos solos foi utilizada a Unidade Móvel de amostragem dos solos (UMAS), tracionada por trator com engate na barra de tração e sistema hidráulico para acionamento dos equipamentos da mesma.

A UMAS é uma carreta fechada, dotada de um penetrômetro hidráulico eletrônico, para determinação da resistência mecânica a penetração, e amostrador hidráulico mecânico de amostras indeformadas do solo, para conhecimento de parâmetros e propriedade dos solos.



Figura 8: UMAS sendo tracionada por um trator.

Esta unidade conta também com um sistema de posicionamento (Receptor AgGPS 132 – Trimble), com sinal de correção DGPS (Omnistar) o que possibilita o georreferenciamento das amostras retiradas de resistência mecânica a penetração e indeformadas do solo (Figura 9).

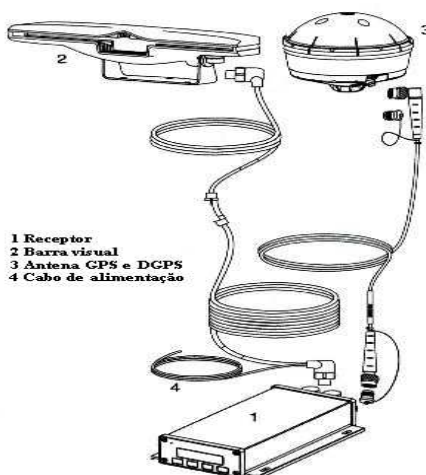


Figura 9: Esquema do sistema de posicionamento utilizado na UMAS.

O sistema de posicionamento ainda auxilia na coleta de dados no campo. Esta coleta pode ser realizada de forma aleatória, no sentido da curva de nível ou em malhas quadradas. Para otimizar este processo foi instalada no painel do trator a barra visual ou barra de luzes. Uma prévia programação do DGPS indica o caminhamento longitudinal do trator e equipamento, e um sensor de roda instalado na UMAS, fornece os pulsos e distância

percorrida entre pontos. O sensor gera um acionando sonoro informando ao operador que pare o trator e equipamento para nova coleta de dados.

Desta forma é possível parar nas distâncias longitudinais e transversais previamente previstas, promovendo a criação de uma malha quadrada de amostras. A criação da malha de forma coerente auxilia no estudo espacial da variável em questão. A malha utilizada na Usina Cerradinho foi de 50 por 50 metros, sendo coletados os dados em 8 áreas distintas com 3 diferentes manejos culturais, de solo preparado, com e sem crotalária.

O posicionamento correto no campo foi determinado pela utilização do computador de mão iPaq (Compaq 3700), com o programa SST FieldRover II (SST Development Group, Inc.) conectado ao GPS.

Neste trabalho foram realizados trabalhos somente com o penetrômetro hidráulico eletrônico desta unidade para produção de mapas com a resistência mecânica a penetração de áreas produtivas da Usina Cerradinho.

O penetrômetro hidráulico eletrônico foi desenvolvido pelo NEMPA. Este é acionado por um pistão e válvulas hidráulicas. Para o sistema de coleta eletrônica de dados este equipamento contém, quando em funcionamento, um Micrologger, modelo CR23X da marca Campbell Scientific (Figura 10).



Figura 10: Penetrômetro hidráulico eletrônico e Micrologger na UMAS.

O Micrologger permite que os dados do posicionamento dos pontos amostrados (latitude, longitude a altitude), de força e os correspondentes a sua profundidade fiquem armazenados. Para determinação das forças necessárias a penetração é utilizada uma célula de carga com capacidade de 5000N conectada a haste de penetração construída obedecendo as características estruturais e operacionais definida pela norma da ASAE S313.2. Os dados correspondentes a profundidade da força realizada são captados por um sensor de profundidade do tipo potenciômetro linear.

Depois da recolha e armazenamento dos dados, a sua transferência, do Micrologger para um computador, com auxílio de programas específicos, pode proporcionar a criação de gráficos de resistência mecânica a penetração e mapas de isocompactação, como os apresentados nos resultados.

O processamento de dados no campo foi realizado com programas de linguagem “Clipper” com finalidade de seleccionar os dados de interesse, os gráficos foram gerados com auxílio do programa *Exel* e a criação dos mapas no *Surfer 8.0*.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 ENSAIO DE PNEUS

Os resultados do levantamento realizado no tanque de solos, determinando a deformação sofrida pelo pneu nas variadas cargas e pressão de inflação, a área de contato do pneu com o solo e o volume deslocado de solo serão apresentados abaixo.

A área de contato foi determinada por três métodos, o teórico, da foto digital e utilizando o perfilômetro eletrônico a laser. O perfilômetro eletrônico a laser foi também usado para se determinar o volume de solo deslocado ocasionado pelo contato do pneu, somente quando se determinou as cargas e pressão ideais para trabalho destes.

Para a determinação da área de contato através do método da foto digital, foram fotografadas todas as condições de pressão de inflação testadas. Para facilitar o entendimento estão apresentadas na Figura 11 as diferentes cargas aplicadas (500, 1000, 1500, 2000 e 2500 kgf), porém somente com uma pressão de inflação (22 psi) para o pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.

Na Figura 12 estão ilustradas as diferentes cargas aplicadas (250, 500, 750, 1000, 1250 e 1500 kgf) na pressão de inflação de 20 psi para o pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24.

A apresentação de somente uma pressão de inflação sugere que esta seja a recomendada para a utilização em diversas condições de trabalho para o pneu testado. Assim, pode-se notar as diferentes deformações e áreas de contato causadas de acordo com a variação da carga aplicado sobre os rodados com a utilização da Unidade fixa de ensaio de pneus.

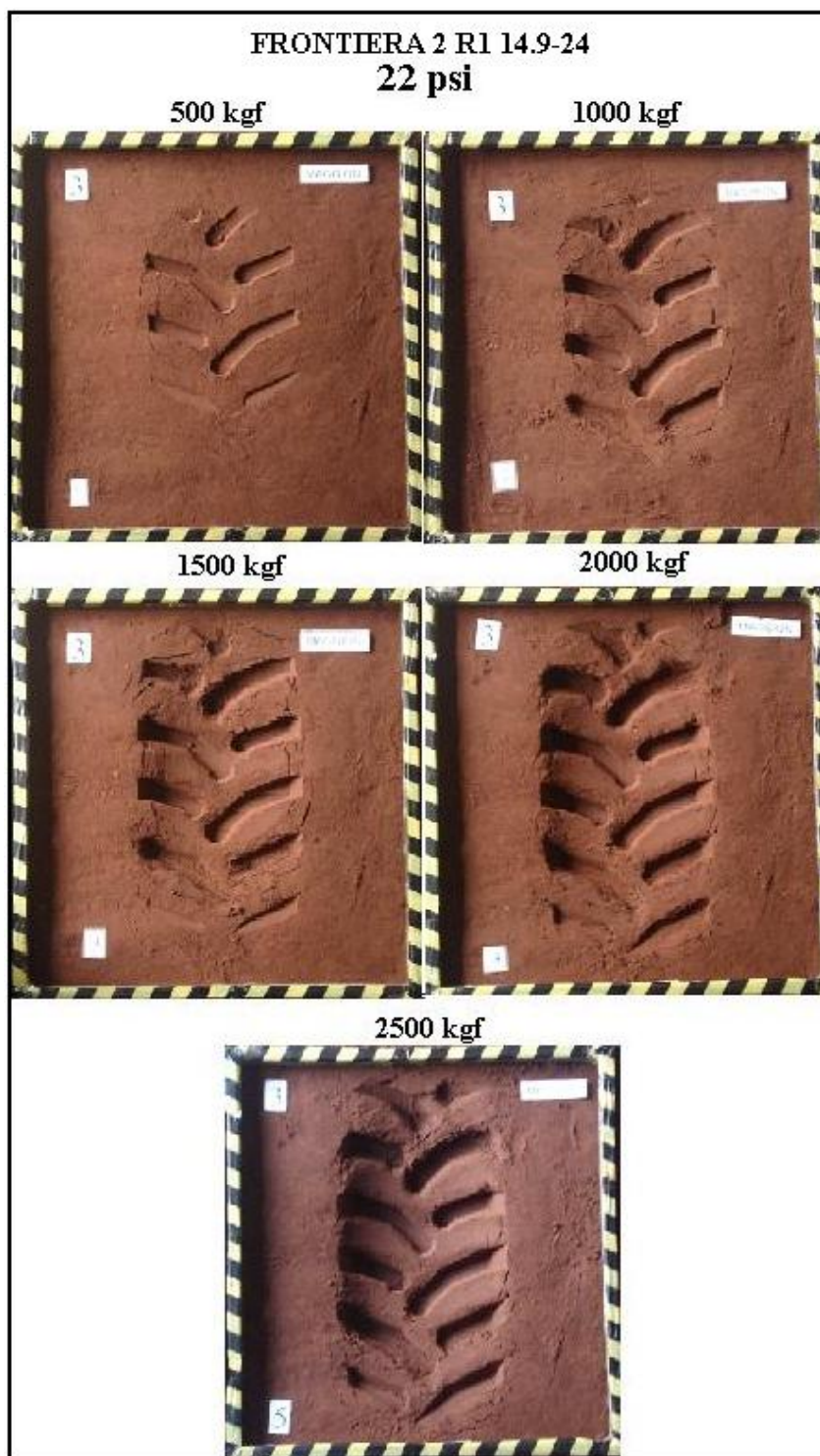


Figura 11: Fotos tiradas para cálculo da área de contato do pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24 nas condições de pressão de inflação de 22 psi e 500, 1000, 1500, 2000 e 2 2500 kgf de carga aplicada.



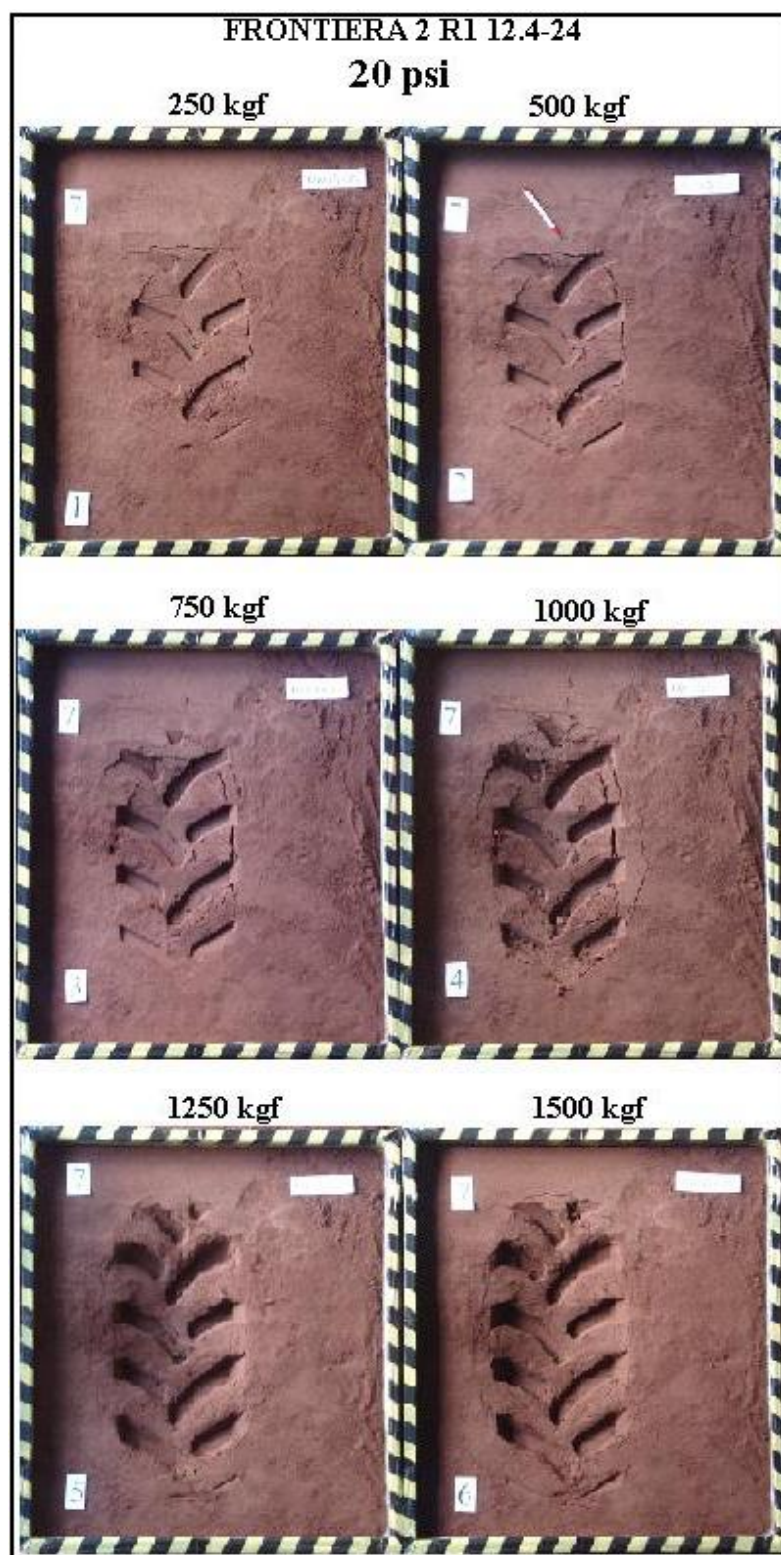


Figura 12: Fotos tiradas para cálculo da área de contato do pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24 nas condições de pressão de inflação de 20 psi e 250, 500, 750, 1000, 1250 e 1500 kgf de carga aplicada.

A utilização do perfilômetro eletrônico a laser e posterior processamento no programa *Surfer 8.0* proporcionou o conhecimento da área de contato e do volume deslocado das condições de 22 psi de pressão de inflação e carga aplicada de 2000 kgf para o pneu

FRONTIERA 2 R1 14.9-24 (Figura 13) e 20 psi de pressão de inflação e carga aplicada de 1250 kgf para o pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24 (Figura 14).

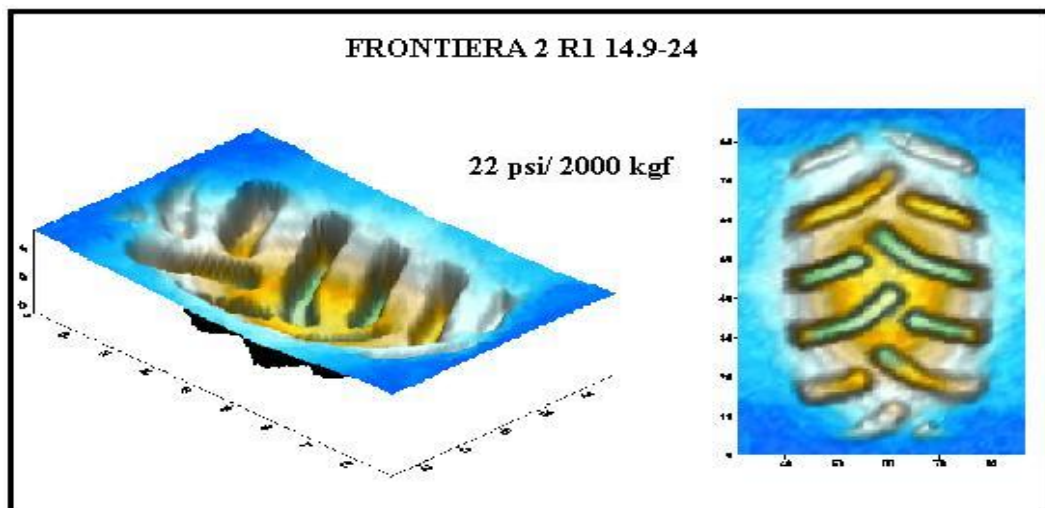


Figura 13: Mapas da área de contato e volume ocupado do pneu no solo do pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.

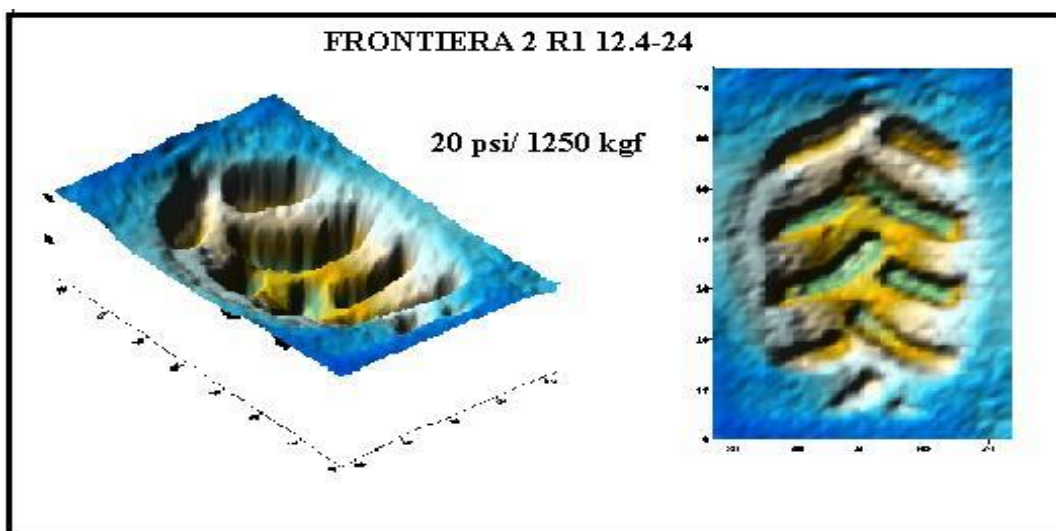


Figura 14: Mapas da área de contato e volume ocupado do pneu no solo do pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24.

A determinação da utilização correta da pressão de inflação de acordo com a carga aplicada pode interferir na manutenção de algumas características dos solos. Esta decisão é tomada considerando-se a melhor capacidade de trabalho, avaliando a área de contato, de acordo com a compactação gerada.

Os resultados obtidos após processamento dos dados obtidos com o pneu Maggion FRONTIERA 2 R1 14.9-24 estão apresentados na Tabela 3, e, os resultados obtidos com o pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24 estão apresentados na Tabela 4.



Tabela 3: Resultados obtidos no tanque do solo para o pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.

<b>CARGAS</b>	<b>PARÂMETROS</b>	<b>15 psi</b>	<b>20 psi</b>	<b>22 psi</b>	<b>25 psi</b>	<b>30 psi</b>
<b>500 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	56,0	75,0	63,0	74,0	65,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	0,1383	0,1494	0,1459
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,1195	0,1289	0,1279	0,1456	0,1340
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-	-
<b>1.000 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	127,0	134,0	107,0	117,0	111,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,1774	0,2116	0,1828	0,1958	0,1915
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,2088	0,2132	0,1688	0,2033	0,1889
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-	-
<b>1.500 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	138,0	160,0	142,0	153,0	129,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,2188	0,2327	0,2291	0,2306	0,2336
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,2189	0,2286	0,2205	0,2291	0,2376
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-	-
<b>2.000 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	160,0	180,0	174,0	179,0	179,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,2409	0,2540	0,2549	0,2566	0,2548
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	0,2685	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,2486	0,2517	0,2489	0,2459	0,2589
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	0,1336	-	-
<b>2.500 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	182,0	209,0	192,0	197,0	195,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,2719	0,2827	0,2741	0,2694	0,2675
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,2578	0,2582	0,2575	0,2664	0,2648
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-	-

Tabela 4: Resultados obtidos no tanque do solo para o pneu FRONTIERA 2 R1 12.4-24.

<b>CARGAS</b>	<b>PARÂMETROS</b>	<b>15 psi</b>	<b>20 psi</b>	<b>25 psi</b>	<b>30 psi</b>
<b>250 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	42,0	44,0	37,0	25,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,0982	0,1017	0,0822	0,0738
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,0937	0,1019	0,0681	0,0517
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-
<b>500 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	66,0	62,0	67,0	52,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,1169	0,1155	0,1247	0,1029
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,1168	0,1131	0,1262	0,1018
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-
<b>750 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	90,0	75,0	94,0	86,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,1503	0,1321	0,1480	0,1446
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,1425	0,1275	0,1429	0,1331
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-
<b>1.000 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	115,0	102,0	127,0	108,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,1727	0,1622	0,1774	0,1587
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,1779	0,1479	0,1816	0,1492
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-
<b>1250 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	133,0	125,0	146,0	126,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,1873	0,1822	0,1879	0,1753
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	0,1961	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,1898	0,1769	0,1902	0,1700
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	0,0980	-	-
<b>1.500 kgf</b>	<b>Deformação (mm)</b>	155,0	141,0	166,0	141,0
	<b>AC Teórica (m<sup>2</sup>)</b>	0,2087	0,1883	0,2100	0,1909
	<b>AC Laser (m<sup>2</sup>)</b>	-	-	-	-
	<b>AC Foto (m<sup>2</sup>)</b>	0,2040	0,1820	0,2148	0,1910
	<b>Volume desl. (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-	-

O ponto de máxima compactação também foi constatado (Figura 15). A consideração deste aspecto informa a o nível da compactação gerado pelo pneu quando aplicada à carga de 3000 kgf e pressão de inflação de 30 psi para o pneu 14.9-24 e 3000 kgf e pressão de inflação de 35 psi para o pneu 12.4-24. Desta forma é possível se constatar o nível de compactação máxima gerada pelo pneu, sobre que carga e referente profundidade.

Para a construção do gráfico foram retiradas amostras testemunhas, aonde não ocorreu contato do pneu com o solo, amostras no transecto da largura e transecto do comprimento da marca do pneu no tanque de solos. As amostras testemunhas geraram pouca compactação e, por isso, são apresentadas nos gráficos como sem compactação.

Além do ponto de compactação foram feitos os testes referentes à constatação do índice de cone no tanque de solos. A construção dos perfis com o índice de cone dos solos pode ser observada na Figura 15.

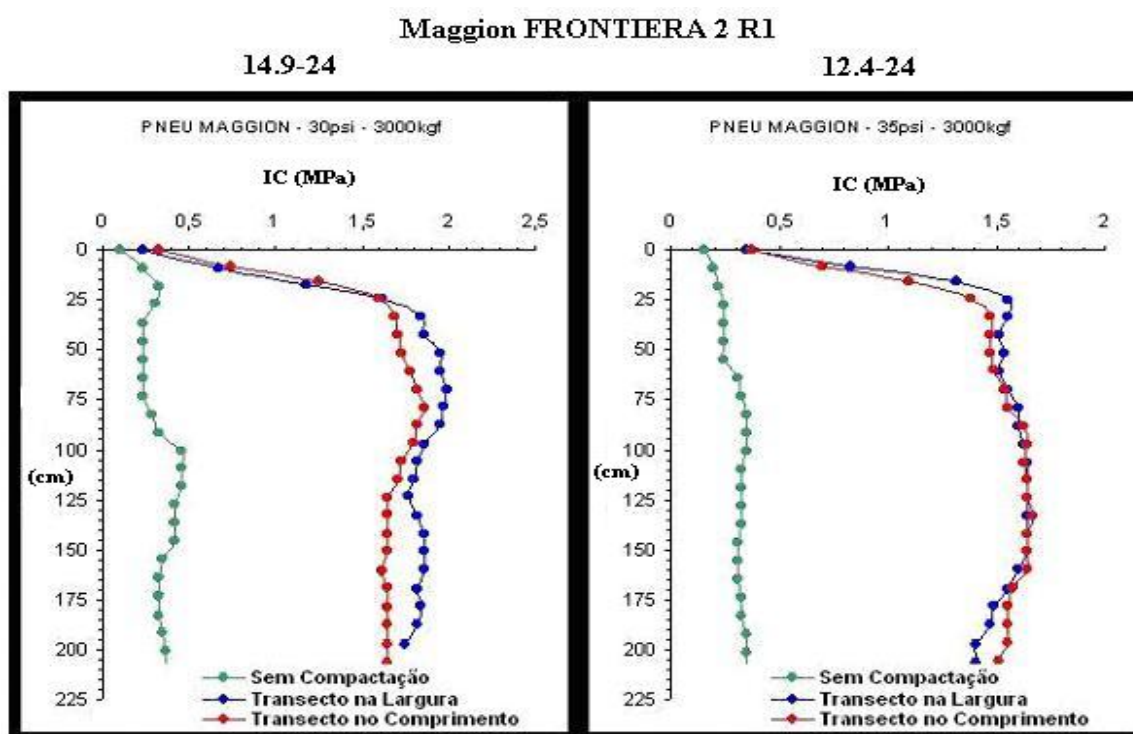


Figura 15: Ponto de máxima compactação dos solos com pneu FRONTIERA 2 R1 14.9-24.

Os perfis, em sequência, mostram o índice do cone (Mpa) das amostras testemunhas retiradas do solo aonde não houve contato do pneu, uma visão lateral e outra frontal. É possível constatar de maneira clara a resistência a penetração gerada pelos rodados dos pneus no solo (Figura 16).

Como os testes são feitos de forma estática é possível observar o desenho do pneu analisando-se os perfis elaborados com o índice de cone. As amostras utilizadas para se fazer o gráfico do ponto de máxima compactação e do índice de cone dos solos foram os mesmos.

O nível de compactação gerado foi maior para o pneu 14.9-24, o que era esperado, já que, as suas dimensões de construção também são maiores.

## Maggion FRONTIERA 2 R1

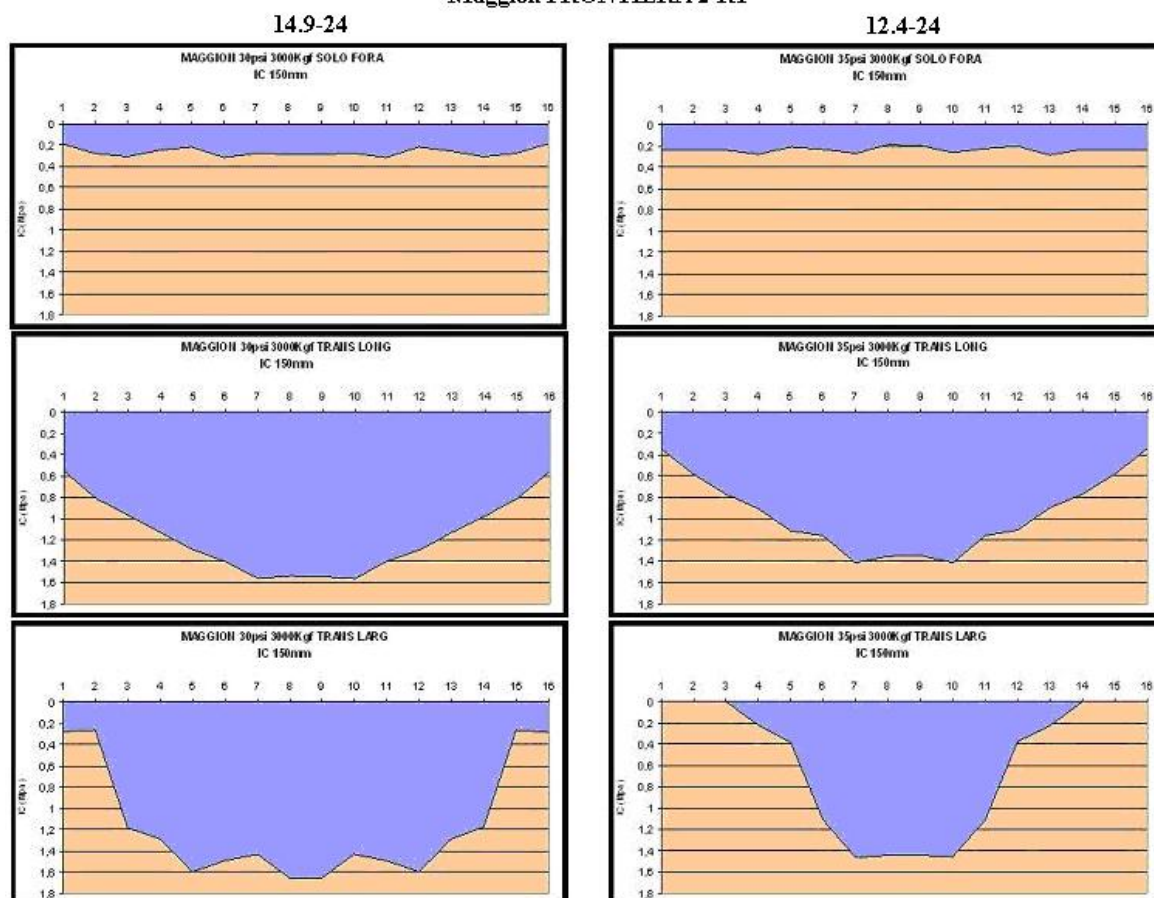


Figura 16: Índice de cone para os pneus FRONTIERA 2 R1 14.9-24 e 12.4-24.

## 7.2 A AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Os dados foram coletados em 8 distintas áreas. As áreas apresentavam três diferentes manejos culturais, sendo a área 1 com solo preparado, áreas 2; 4; 6 e 8 de preparo com a presença da crotalária e áreas 3; 5 e 7 sem a presença da crotalária.

Observa-se na Figura 17, uma grande variabilidade dos valores coletados para a determinação de Índice de Cone. Os valores encontrados representaram uma significativa compactação dos solos em todas as áreas.

Os maiores valores médios de Índice de Cone máximo encontrados, para a camada de 0 a 450 mm de profundidade, foram nas áreas 2; 5 e 6, chegando a ultrapassar os valores de 10.000 kPa. As áreas 3 e 4 obtiveram valores entre 8.000 a 9.500 kPa e as áreas 1; 7 e 8 com valores entre 6.000 a 7.500 kPa (Figura 17).

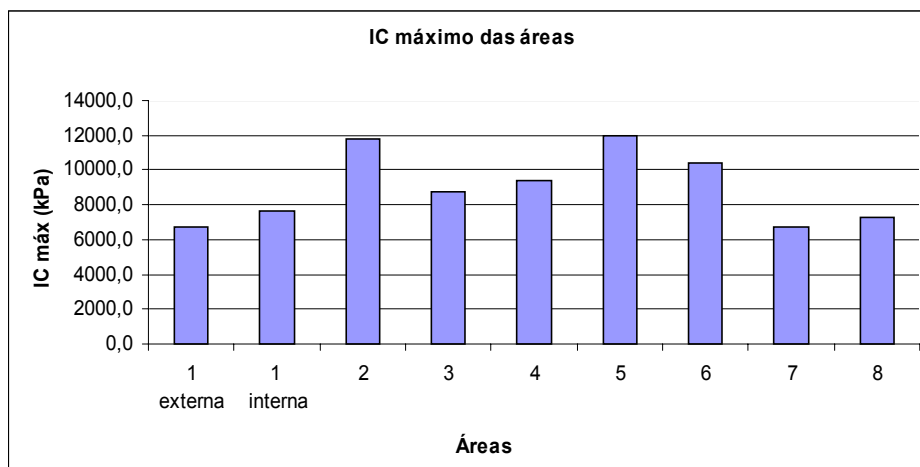


Figura 17: Média dos valores de índice de cone máximo das áreas na camada de 0 a 450 mm.

Os valores médios da resistência a penetração encontrados nas áreas da Usina Cerradinho indicaram alta compactação dos solos (Figura 18). É possível observar valores próximos a 3.000 kPa aos 100 mm de profundidade, o que indica uma alta compactação superficial dos solos. A área mais compactada estava na profundidade de 300 a 400 mm.

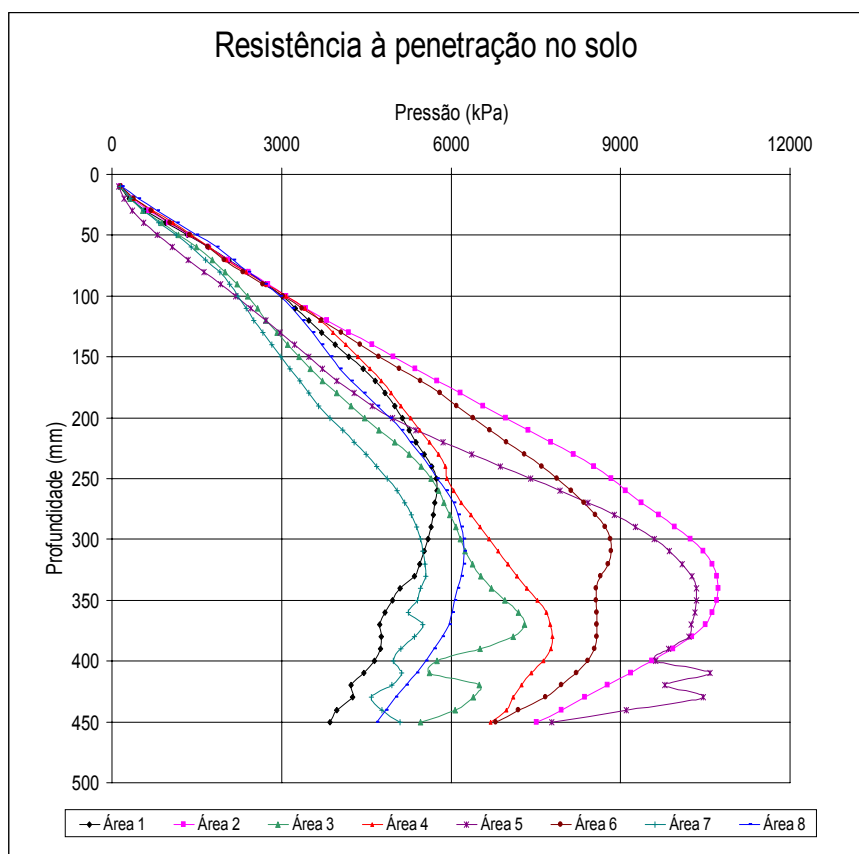


Figura 18: Resistência a penetração no solo média das áreas da Usina Cerradinho.

O conhecimento da profundidade da camada mais compactada, bem como a variabilidade espacial destes valores são reunidos nos mapas da resistência a penetração dos solos.

Estes mapas não foram feitos para a Usina Cerradinho. Os resultados encontrados nas áreas da usina apresentaram pouca variabilidade em relação à compactação dos solos. Esta característica implicou na recomendação do revolvimento dos solos em toda a área e não de forma variável, como proporciona a agricultura de precisão.

Para efeito de ilustração alguns mapas são apresentados abaixo (Figura 19). São representadas profundidades de 0 a 100 mm, 100 a 200 mm e 200 a 300 mm. Nesta área é possível observar pouca compactação para o primeiro mapa, na camada de 0 a 100 mm. Nas áreas de profundidade crescente, 100 a 200 mm e 200 a 300 mm, é possível observar coerência nos valores de resistência a penetração, sendo eles maiores e sobrepostos, caracterizando as áreas em que as práticas mecanizadas realizadas anteriormente não descompactaram as camadas mais profundas dos solos.

Para este caso é possível recomendar práticas para combater a compactação de forma variável, de acordo com a localização e nível de compactação.

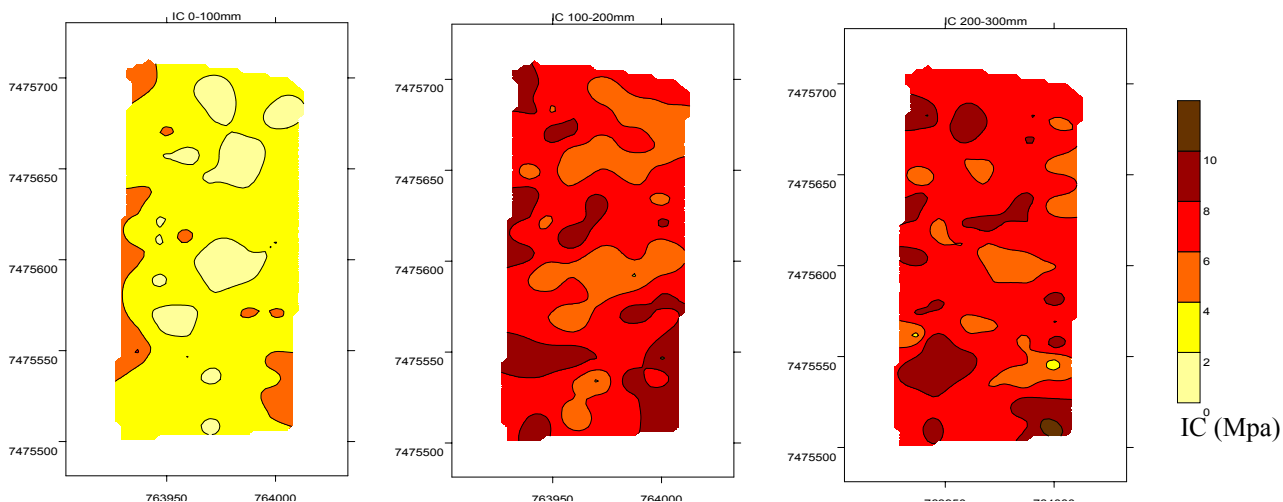


Figura 19: Mapas do índice de cone encontrado nas áreas de acordo com a profundidade.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de atividades como o ensaio de pneus agrícolas tem se mostrado uma ótima iniciativa para a otimização de processos produtivos que dependem da locomoção por rodados pneumáticos.

O conhecimento detalhado das principais características de trabalho destes pneus proporciona, de forma segura, a recomendação mais adequada para o seu funcionamento de maneira harmônica com o ambiente.

Desta forma é possível obter melhores resultados das operações mecanizadas, maior rendimento das máquinas, economia de combustíveis, elevação da vida útil do pneu e uma menor agressão às características físicas dos solos transitáveis.

A utilização dos conceitos da agricultura de precisão com Unidade Móvel de Amostragem dos Solos (UMAS) também tem se mostrado uma ótima alternativa para o conhecimento especial e específico das características de cada talhão.

A UMAS proporcionou, além da coleta de amostragem de solo com a localização geográfica, a obtenção da resistência mecânica a penetração. O levantamento destes dados possibilita a confecção de mapas com a variabilidade espacial do nível de índice de cone dos ambientes estudados.

Estes mapas podem gerar uma substancial economia na condução das culturas, sendo que, é possível fazer recomendações proporcionais as variáveis encontradas, ou seja, as praticas mecanizadas são realizadas somente quando for de real necessidade.

O ensaio de pneus e os mapas de índice de cone dos solos são ferramentas auxiliares nos processos produtivos cada vez mais necessárias. A sua utilização vêm contribuindo de forma imponente os processos que garantem a estabilidade de atributos tão requisitados em solos com boas produtividades, com baixos níveis de compactação.

A continuidade do estudo e desenvolvimento de novas técnicas baseadas nesta ótica é de grande importância para garantir a estabilidade e competitividade da agricultura brasileira, já consagrada como uma potência agrícola mundial.

## 9 REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. J. B. **Correlação entre o índice de cone (ic) e o modelo de capacidade de suporte de carga de solo de quatro solos da fazenda experimental lageado, FCA/UNESP-Botucatu.** Dissertação (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, S. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas.** 1ª ed. Piracicaba-SP: Degaspari, 1997. 132p.
- COELHO, J. C.; SILVA, L. M. da; TRISTANY, M.L.; NETO, M. de C.; PINTO, P. A. **Manual de Agricultura de Precisão.** Prefácio, Lisboa. 106 p. 2003.
- CORRÊA, I. M. **Conheça o pneu agrícola que você usa.** Revista Unesp Rural, Jaboticabal, v. 18, p. 21, 1999.
- CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água.** Engenharia na Agricultura, v.10, n.1-4, Jan./Dez., 2002-1.
- FERREIRA FILHO, J. B. de S.; FELIPE, F. I. **Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996 – 2005.** In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e sociologia Rural, Anais. Julho, 2007.
- GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; BONIN, J. J.; JESUINO, P. R. **Influência das condições superficiais do solo e do modelo construtivo dos pneus no desempenho de um trator agrícola.** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2007, Bonito. Anais. Jaboticabal : Sbea, v. 1. p. 1-4, 2007.
- GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. **Desenvolvimento de um sistema informatizado para aquisição e armazenamento de dados de sensores analógicos e receptor GPS.** Energia na Agricultura, v. 21, p. 93-107, 2006.
- JENUINO, P. A. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.** Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2007.
- JORGE, J. A. **Compactação do solo: causas, conseqüências e maneiras de evitar sua ocorrência.** Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 22p. (Circular, 117).
- KLEIN, W. L. **Avaliação do Aumento da Altura do Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae*) no Manejo Convencional e de Precisão Usando Análise Geoestatística.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, 2004.
- LANÇAS, K. P. **Desempenho Operacional de Pneus Radiais em Função da Pressão de Inflação, da Lastragem e do Deslizamento das Rodas de Tratores Agrícolas.** Dissertação



(Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1996a.

LANÇAS, K. P.; SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro-hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. p. 570-576. 1998.

LANÇAS, K.P. **A Compactação do Solo Agrícola**. Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 22 p., 1996b.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; FERREIRA, M. F. P.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. C.; BAUER, G. B. **Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração**. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 481-486, out-dez, 2005.

MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 209 p., 2004.

MAZETTO, F. R. **Avaliação das metodologias de determinação das áreas de contato e deformações elásticas de pneus agrícolas em função das pressões de inflação e cargas radiais**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2004a.

MAZETTO, F. R., LANÇAS, K. P., NAGAOKA, A. K. *et al.* **Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas**. Engenharia Agrícola, vol. 24, n. 3, p. 750-757, 2004b.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P. **Determinação da área de contato de pneus agrícolas utilizando uma prensa hidráulica estática**. In: VII Reunião Científica do Lageado, 2000, Botucatu. Resumos - VII Reunião Científica do Lageado. Botucatu : FCA/UNESP, 2000. v. 1. p. 81-81.

MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. **Desempenho de distribuidora a lanço com doses variáveis de uréia**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 290-299, 2003a.

MOLIN, J.P.; SILVA JÚNIOR, R. L. da. **Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade**. Engenharia Rural, v.14, 2003b.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. **Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2002.

NAGAOKA, A. K. ; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. **Resistência do solo à penetração, após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 387-393, 2003.

PAULA, C. A. de. **Desenvolvimento de um Perfilômetro Laser para determinação da área e volume de contato entre o pneu e o solo.** Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

RÍPOLI, T.C.C. **Subsolagem e subsoladores.** Piracicaba: CALQ, 1985. 34p.

SANTOS, B. de S. **Pela mão de Alice: o social e o político na pós-modernidade.** São Paulo: Cortez, 348 p., 1995.